



TITLE:

研究室紹介

AUTHOR(S):

CITATION:

研究室紹介. Cue 2008, 19: 16-33

ISSUE DATE:

2008-03

URL:

<https://doi.org/10.14989/57932>

RIGHT:

研究室紹介

このページでは、電気関係研究室の研究内容を少しずつシリーズで紹介して行きます。今回は下記のうち太字の研究室が、それぞれ1つのテーマを選んで、その概要を語ります。

(※は「新設研究室紹介」、☆は「大学の研究・動向」のページに掲載)

電気関係研究室一覧

工学研究科

電気工学専攻

複合システム論講座

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野

電磁工学講座超伝導工学分野

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野 (小林研) ☆

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野 (引原研)

電気システム論講座電気回路網学分野 (和田研)

電気システム論講座自動制御工学分野 (萩原研)

電気システム論講座電力システム分野 (大澤研)

電子工学専攻

集積機能工学講座 (鈴木研)

電子物理工学講座極微真空電子工学分野 (石川研)

電子物理工学講座プラズマ物性工学分野 (橋研)

電子物性工学講座半導体物性工学分野 (木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野 (松重研)

量子機能工学講座光材料物性工学分野 (川上研) *

量子機能工学講座光量子電子工学分野 (野田研) ☆

量子機能工学講座量子電磁工学分野 (北野研)

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野 (高岡研)

エネルギー科学研究科 (大学院)

エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野 (近藤研)

エネルギー応用科学専攻

応用熱科学講座エネルギー応用基礎学分野 (野澤研)

応用熱科学講座プロセスエネルギー学分野

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野 (長崎研) *

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野 (水内研)

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野 (佐野研)

生存圏研究所

診断統御研究系レーダー大気圏科学分野 (山本研) *

診断統御研究系大気圏精測診断分野 (津田研)

開発創成研究系宇宙圏電波科学分野 (山川研)

開発創成研究系生存科学計算機実験分野 (大村研)

開発創成研究系生存圏電波応用分野 (橋本研)

京都大学ベンチャービジネスラボラトリー (KU-VBL)

情報学研究科 (大学院)

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野 (黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野 (松山研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野 (吉田研)

通信システム工学講座伝送メディア分野 (守倉研)

通信システム工学講座知的通信網分野 (高橋研)

集積システム工学講座情報回路方式分野

集積システム工学講座大規模集積回路分野 (小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野 (佐藤研)

システム科学専攻

システム情報論講座画像情報システム分野 (石井研) *

システム情報論講座医用工学分野 (松田研)

産官学連携センター

研究戦略分野 §

先進電子材料分野 (藤田研)

高等教育研究開発推進センター

情報メディア工学講座情報可視化分野 (小山田研)

学術情報メディアセンター

情報メディア工学講座複合メディア分野 (中村裕研)

注 § 工学研究科電子工学専攻橋研と一体運営

複合システム論講座

<http://turbine.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「精神疾患患者に対する電気痙攣療法の効果指標に関する研究」

電気痙攣療法は、頭部への通電により脳機能を改善する治療法であり、薬物療法による治療効果がみられない精神疾患患者に対する有効な身体療法です。現在は全身麻酔薬により患者を無意識化したうえで、筋弛緩薬を使用して体性痙攣を抑制し、痛感や受傷の危険を排して行われています。

電気痙攣療法の作用機序は明らかになっていませんが、臨床経験から治療効果を発揮するためには複数回の施行が必要であり、それぞれの施行において25秒から50秒程度の脳性痙攣持続時間が必要と考えられています。ところが、電気痙攣療法の電気刺激強度・時間・時機や複数回施行時の頻度・回数などについては、医師の経験に基づいて決定されているため、必ずしも適切に決定されているわけではないと考えられます。また、電気痙攣療法の効果についても脳性痙攣持続時間以外に参考となる客観的指標はなく、医師の経験に基づいて判断されているのが現状です。

そこで、電気痙攣療法の効果を客観的に知ることのできる指標について研究を行っています。このような指標があれば、電気痙攣療法の電気刺激強度などのパラメータを適切に設定することも可能となり、患者の負担を軽減できると考えられます。現在までに行われている研究としては、電気刺激前の脳波に基づいて脳性痙攣持続時間を予測し、電気刺激の時機の決定に利用しようとするものがあります（[1]など）。

我々は、脳波に基づいてこのような指標を構成することを試んでいます。電気痙攣療法時の典型的な脳波を図1に示します。図より、電気刺激の直後に脳性痙攣が発生し、脳波の振幅がいったん小さくなったあと、徐々に大きくなっていることがわかります。また、図からははっきりとわかりませんが、脳性痙攣直後の脳波は低周波成分が多く、その後徐々に高周波成分が増えていって電気刺激前の脳波に戻っていきます。この脳波の変化を

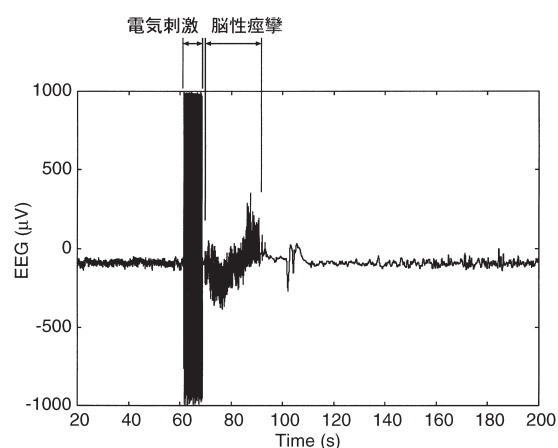


図1．電気痙攣療法時の脳波

- ・ Spectral Entropy [2]

パワースペクトルの偏在度を示す指標

- ・ Median Frequency [3]

パワースペクトルの中央値にあたる周波数

- ・ Spectral Edge Frequency [3]

指定した割合のパワースペクトルが低周波側に含まれる周波数などのパワースペクトルから得られる指標を利用して数値化し、適当な関数で近似したときの変化速度にあたる値が、患者の回復にしたがって変化するという結果が得られています[4]。今後はさらに詳細な検討とより適切な指標の構成を行いたいと考えています。

参考文献

- [1] F. Nishihara, and S. Saito: Anaesthesia and Intensive Care, 32,661/665 (2004)
- [2] A. L. G. Vanluchene, H. Vereecke, et al.: Anesthesiology, 101,34/42 (2004)
- [3] M. Doi, R. J. Gajraj, et al.: British Journal of Anaesthesia, 78,180/184 (1997)
- [4] E. Furutani, K. Asada, et al.: SICE Annual Conference 2007,2735/2738 (2007)

電磁工学講座 超伝導工学分野

<http://www-lab04.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.j.html>

「全超伝導かご型誘導/同期機の開発」

当研究室では、汎用されているかご型誘導機の超伝導化を検討しています。超伝導回転機としては、主として巻線型同期機を対象としたものがほとんどで、誘導機は効率や力率が悪いこと等の理由により、これまで超伝導化の対象としては取り上げられてきませんでした。しかしながら、筆者らはかご型誘導機がこれまで汎用されてきた歴史的背景（簡易な構造、堅牢、保守の容易性、安価、大量生産向き他）に着目し、そうしたニーズを生かした上で、独自の哲学に基づいて超伝導材料の導入を検討しています。この時、超伝導材料を過保護に扱うことはせず、そのポテンシャルを既存技術へ最大限に生かす最適導入を検討することになります。

上記哲学のもと、これまでかご型誘導機の2次側かご型巻線を高温超伝導化することにより、(1)高効率化、(2)高出力密度化、(3)同期トルクと非同期トルクの両立性、(4)定トルクに近い垂下加速特性、(5)過負荷に対するロバスト性など、既存の回転機では実現できない高性能化ならびに高機能化が達成可能であることを明らかにしてきました [1-3]。また、本回転機を高温超伝導誘導/同期機 (High T_c Superconducting Induction/Synchronous Machine: HTS-ISM) と命名し、世界に向けて発信しています。本回転機に関しては、住友電気工業 (株) 電力・エネルギー研究所 [4] ならびに (財) 国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所 (ISTEC-SRL) [5] との共同研究を通じて、異なった高温超伝導線材についても検討を行っており、特に文献 [5] については、Institute of Physics (英国) より Excellent paper に選ばれました。

本研究では、さらに固定子までも高温超伝導線材によって製作する全超伝導化にチャレンジしています [6]。ただし、超伝導特性 = 抵抗ゼロが成立するのは直流電流に対してのみです。換言すると、どのような応用に対しても固定子巻線を超伝導化すれば良いという天下りの考え方ではなく、交流電流が流れる条件下においても超伝導化の明白なメリットが見出される応用分野にターゲットを絞る必要があります。筆者は、冷却・交流損失特性・機器特性の3課題に関して包括的に検討した結果、現状のポテンシャルとして低速回転機にのみ全超伝導化のメリットがあるという方針を立ち上げ、独自に検討を行っています。このような応用としては、大容量風力発電システムが考えられ、現在中部電力 (株) 電力技術研究所との共同研究を実施しています。

下図には、当研究室が開発したHTS-ISM試験システムの外観写真を示します。2007年度中に、世界初の全超伝導HTS-ISMの実証試験、および非線形超伝導特性を反映した可変速制御法を確立したいと考えています。さらには、超伝導機実用化に際してストレスとなる“冷やさなければならない”という課題に対しても、ブレークスルーを達成すべく精力的検討を実施しています。



図. HTS-ISMの試験システム外観図

参考文献

- [1] G. Morita, T. Nakamura et al., Superconductor Science and Technology, vol. 19, 473 (2006)
- [2] T. Nakamura, et al., Superconductor Science and Technology, vol. 20, 911 (2007)
- [3] 中村武恒, 超電導Web21 (ISTEC) , vol. 3, 7 (2007)
- [4] T. Nakamura, et al., in review
- [5] K. Nagao, T. Nakamura, et al., Superconductor Science and Technology, at press
- [6] 中村武恒 他, 2007年度秋季低温工学・超電導学会、仙台市 (2007年11月20～22日)

電気システム論講座 電気回路網学分野（和田研究室）

<http://bell.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「時間解像度と量子化レベルを関連づけた適応信号表現」

1. 波形の高精度表現

研究室ではこれまでに回路の精度保証やトランス解析に関連して、区間数やグレイコード表現などの研究を行ってきました。今回は、アナログ信号をデジタルに変換するときに、波形を精度良く表現する手法として、時間解像度と量子化レベルを関連づけた適応信号表現について紹介致します [1]。

2. $\Delta\Sigma$ 型A/D変換出力の適応デシメーション

高精度のA/D変換器として $\Delta\Sigma$ 型がよく用いられますが、この変換器の出力はオーバーサンプリングされた1bit信号となっています。この信号をマルチビット信号に変換するためにローパスフィルタを通して間引き（デシメーション）を行ないます。このとき、時間ステップ（ q_t ）を大きくとれば量子化ステップ（ q_z ）を小さくでき、量子化ステップを大きくとれば時間ステップを小さくとれます（図1左）。実際にどのような（ q_t , q_z ）をとれば良いかというと、波形の傾きが小さいときには q_z を小さく、傾きが大きいときには q_t を小さくとればよいことになります（図1右）。つまり、傾きに基づく適応デシメーションにより、精度良く信号表現ができます。提案手法を傾きが大きい部分と小さい部分をもつ波形に適用すると図2のようになります。左が提案手法、右が固定デシメーションですが、提案手法の有効性が確認できます。また、実際にこの変換が実時間処理で実現できることをFPGAを用いて示しました。

<参考文献>

- [1] K. Hayashi, T. Hisakado: "Signal Expression Based on Equivalence of Time Resolution and Quantization Level," Proc. ISCAS2006, pp.3474-3477, 2006.

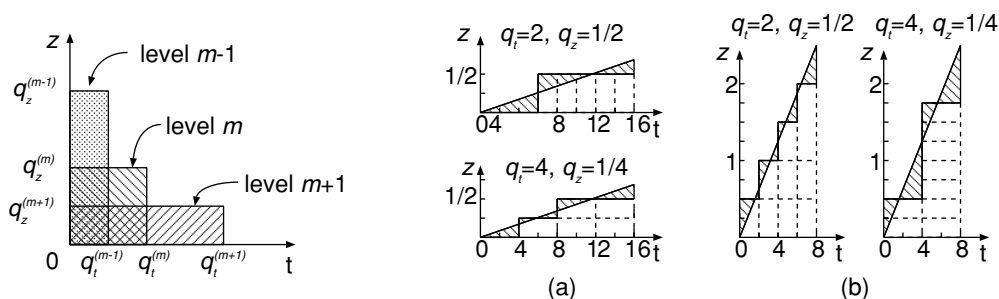


図1. 時間解像度と量子化レベル。傾きが小さい時は q_z を小さくし、傾きが大きい時は q_t を小さくする。

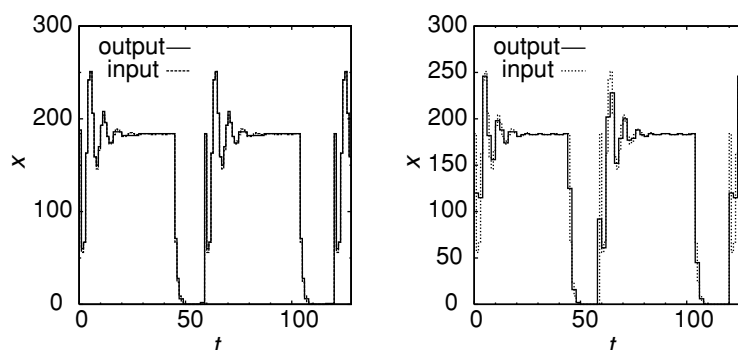


図2. 信号表現（左が提案手法による適応デシメーション、右は固定デシメーション）

電気システム論講座 自動制御工学分野（萩原研究室）

<http://www-lab22.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「ロバスト半正定値計画に関する研究」

制御工学における最も基本的な問題は、与えられた制御対象に対して最良の制御性能を発揮する制御装置を設計することです。制御対象の動特性を数学モデルで表現し、制御性能の達成度を定量的に評価するための目的関数を導入すると、この問題は制御装置のパラメータを決定変数とする数理計画問題（最適化問題）に帰着されます。とくに、線形システムに対する解析・設計問題の多くは、対称行列に関する正定値性制約（LMI）のもとで線形の目的関数を最小化する半正定値計画問題（SDP）に帰着されることが知られています。SDPは凸最適化問題であり、計算機によって効率良く解けるため、SDPへの帰着をもって制御の問題を“解けた”とみなすことができます。

しかしながら、われわれが常に直面するモデル化誤差の問題、すなわち数学モデルでは制御対象の動特性を完全には表現し得ないという問題を考えるとき、解くべき数理計画問題はより複雑な形となります。例えば、制御対象の物理パラメータの変動範囲は既知であるもののその正確な値は分からないといった現実的な状況下では、制御対象の動特性を単一の数学モデルで表現するのではなく、物理パラメータに依存する形で表現するのが自然です。このとき、物理パラメータの変動に応じた“無限個”の制御対象に対して、所望の制御性能を達成する単一の制御装置を設計することが本質的な問題となります。この問題を数理計画問題として表現すると、粗くいえば無限個のLMI制約を持つSDPとなります。このタイプの問題が、ロバスト半正定値計画問題（ロバストSDP）と呼ばれるものです。ロバストSDPで記述される問題は制御のみならず多岐の工学分野にわたり、その応用も広いため、最適化や制御理論に携わる研究者によってロバストSDPの解法に関する研究が盛んに行なわれています。現在では、本来解きたいロバストSDPの上界値を与える（通常の）SDPを順次構成し、漸近的に真の最適解を求める解法などが導かれています。本研究室では、制御における問題を定式化した際に表れるロバストSDPの特別な構造に着目し、一般には上界値を与えることしか保証されないSDPを解いて得られた解が、真の最適解と一致していることを判定するための条件を明らかにするといった重要な研究分野に取り組んでいます。

以下、研究の一例を示します。ここで考える問題は、与えられた行列 $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbf{R}^{n \times m}$ に対して $\varepsilon^* := \min_{z \in \mathbf{C}} \sigma_{\min}([A - zI \ B])$ ($\sigma_{\min}(\cdot)$ は最小特異値) で定義される ε^* を求める問題です。 ε^* は対 (A, B) の“可制御性の強さ”と関連しており、大雑把に言って ε^* の値が大きいほど可制御性が強いということになります。この問題は、一般に局所最適解を複数有する非凸最適化問題となっており、その取り扱いが難しいことが知られています。図1に、ある行列対 (A, B) の $\log_{10}(\sigma_{\min}([A - zI \ B]))$ の値を複素平面上にプロットしたものを例示します。我々の研究では、この問題の最適値の下界値を求める問題がロバストSDPとして定式化できることを示し、さらにこの下界値を計算するための（通常の、したがって計算可能な）SDPを導いています。加えて、下界値が真の最適値と一致していることを判定するための条件を導出し、提案する下界値の計算手法を用いることで、数多くの数値例において実際には真の最適値を計算できることを明らかにしています。同様の考え方が不確かな線形システムのロバスト性能解析にも適用できることなどが明らかとなりつつあり、精力的に研究を進めています。

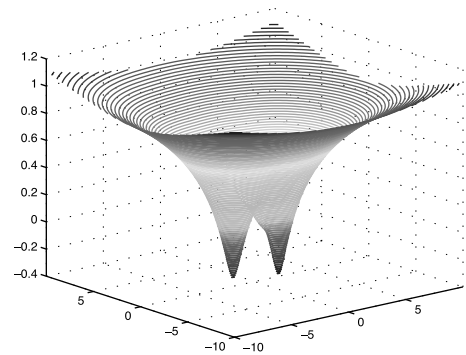


図1. $\log_{10}(\sigma_{\min}([A - zI \ B]))$ の複素平面上でのプロット

電気システム論講座 電力システム分野 (大澤研究室)

<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~ohsawa/index.html>

「真空中における絶縁支持物の帯電抑制に関する研究」

地球温暖化問題を背景として高電圧技術者・研究者が近年取り組んでいる課題の一つに、SF₆（六フッ化硫黄）ガスの削減を目的とした高電圧真空遮断器の開発があります。これは、電力用遮断器の絶縁およびアーク消弧媒体をSF₆から真空に変えようとするものです。現在、80kV級までの真空遮断器が普及していますが、さらに高い電圧階級、例えば一点切りで160kV級の遮断器を開発する試みがあります。その開発には消弧方式の問題や冷却の課題もありますが、我々は絶縁、特に真空ボトルの沿面絶縁の合理化に取り組んでいます。真空中では固体絶縁物（ボトル内面）が陰極から放出される電子の衝撃を受けて帯電し、これが引き金になって沿面放電がおきます。そこで、帯電の抑制が重要になります。帯電抑制手法には種々ありますが〔1〕、ここでは、非常にシンプルで安価な方法について述べます。真空中の帯電現象では、気体中や液体中の帯電現象には無い特徴として、電荷分布を理論的に評価できます〔2〕。その理論に基づいて、絶縁物の表面に近い真空部での電子の軌道を計算してみると、電子は表面でジャンプする如くに運動しながら陽極に向かいます。絶縁物表面への衝突時には二次電子放出過程によって増殖がおこるため表面は正に帯電し、これが陰極の電界を強めるため、陰極からの電子供給がますます増えるという悪循環（正帰還）に陥ります。そこで、電子のジャンプ高さよりも高い庇を表面に設けてやると電子の運動が阻害されるため、帯電を抑制することができます（図1）。計算では、このジャンプ高さは1μm程度あるいはそれ以下でした。実験では円柱型のアクリルやガラスを試料として、紙やすりなどで表面をざらざらの状態にし、帯電に伴う陰極電界の変化を測定しました（図2）。図のように、材料の違いによらず、表面の粗さとともに陰極電界が低下し、粗さが3μm程度では帯電しなくなったことがわかります。また、この抑制効果は試料厚さ300μmから50mmの広範囲で確認できました。したがって、この方法は真空中の沿面絶縁を必要とする多くの機器にも応用できます。

〔1〕 O. Yamamoto, S. Markon, H. Morii, “Depression of Insulator Charging in Vacuum by Partial Mechanical Processing”, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.14, No.3, pp. 606-612. (2007)

〔2〕 CUE, No.2, p.36 (1998)

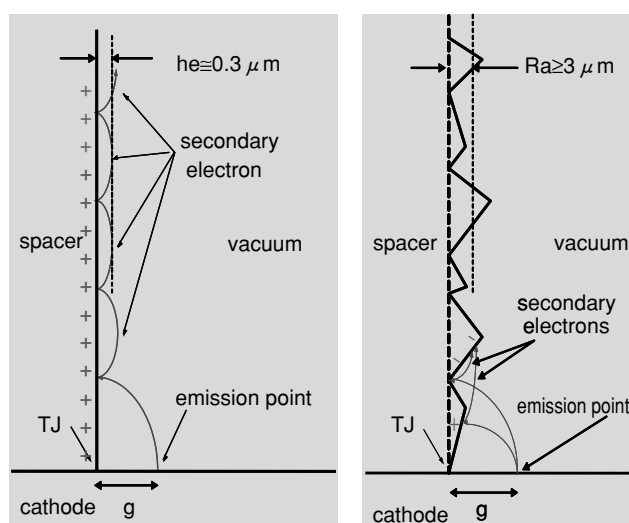


図1. 表面粗さ効果の模式図

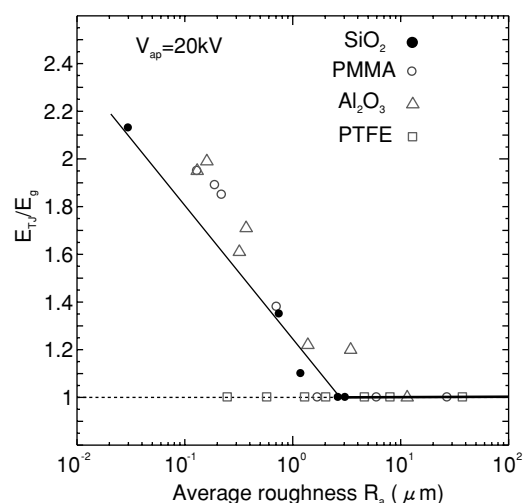


図2. 陰極電界と表面粗さの関係（試料長さ10 mm. E_g :印加電界, E_T :印加電界と帯電電荷電界の和）

電子物理工学講座 プラズマ物性工学分野（橋研究室）

<http://plasma1.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「液相が関与するプラズマの生成とその応用」

近年の持続可能社会実現という社会的要求に対応すべく、プラズマの応用分野も従来の半導体材料プロセスから環境・医療・バイオ応用を目的とした応用に変遷しています。従来の成膜・表面処理・エッチング等を目的としたプロセスでは、プラズマ中の活性化学種、イオン、電子、紫外光、電磁界の気固界面相互作用を利用しますが、環境・医療・バイオ応用では更に液体との相互作用が加わります。現在は、微生物・生体を含む炭素系物質の分解・改質に有効なOやOHラジカルが相互作用の担い手として注目されていますが、用途により相互作用の鍵となる因子は異なり、幅広い用途が期待されます。

本研究室ではこれまでに図1に示すような被覆導線と金属導線とが織物構造を有するファブリック電極を考案し安定な大気圧プラズマを得ることに成功しており、このファブリック電極ともう一つの金属電極を図2のように電解質水溶液中で対向させ、放電用電圧とは別の直流電圧を印加することにより電気分解で生成される水素や酸素の泡中での放電が可能であることを見出しました。現在は、液体が電解質水溶液であることや、生成されるガスがH₂またはO₂であるという制約はありますが、液中に外部から気体を導入する必要が無いという特徴を持っており、応用面では小型・オンサイト処理・分析等への発展性を秘めています。

図3（a）に図1の点線で示した箇所に発生した泡を、図3（b）にその内部での放電の様子を示します。一つの泡の中で金属導線と被覆導線が接する2カ所での放電（発光）が確認できます。図4に示す発光スペクトルには、H_α線が観測されており、この放電が電気分解生成ガスによる放電であることが確認できました。

現在は泡のサイズが大きいので、こうした研究も気相電離によって生じたプラズマが液相と接するという初歩的な研究となっていますが、将来的には微細なナノバブルを含む媒質も研究対象としてとりあげ、高密度の液相と低密度の気相が混在する人工的な二相媒質における放電（電離）過程とプラズマ生成、ならびにその応用へと研究を発展させたいと考えています。

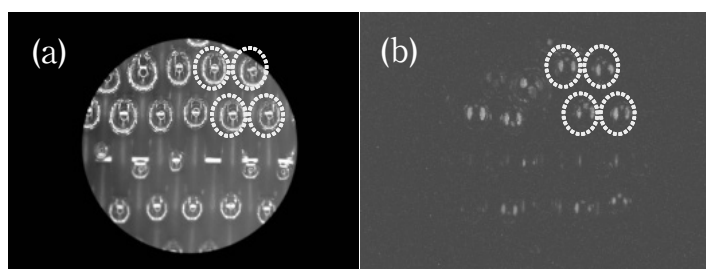


図3. ファブリック電極上に電気分解によって生成された泡 (a) とその内部における放電 (b) の様子

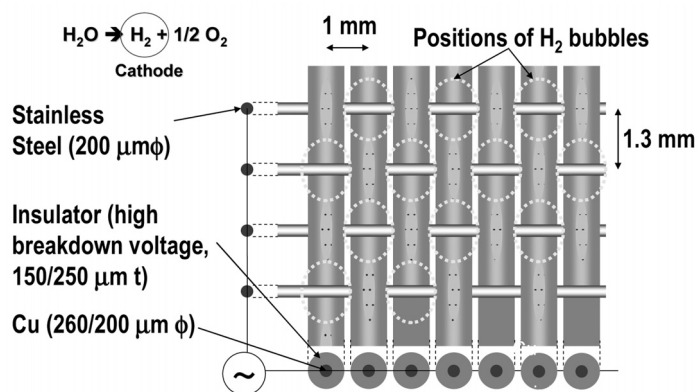


図1. ファブリック電極の構造

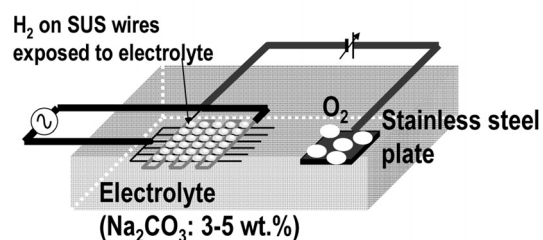


図2. ファブリック電極を電気分解電極として用いた液中泡の発生方法

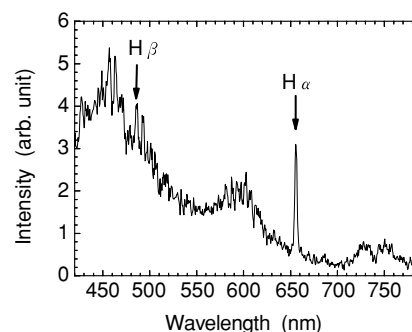


図4. 泡内放電の発光スペクトル

電子物性工学講座 電子材料物性工学分野（松重研究室）

<http://piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp>

「強誘電低分子における分極反転過程の追跡とフレキシブルデバイス応用に関する研究」

フッ化ビニリデン（VDF）オリゴマーに代表される低分子系の有機強誘電体においては、単一分子内に存在する永久双極子が外部より印加される電圧の極性に応じて回転することで、分極反転が発生するとされています。究極的に言うと、強誘電性が単一分子の分子分極に帰着できる事を示しており、分極反転現象の起源を探索する上でのモデル材料の一つとして注目されています。また、有機強誘電体が有する自発分極の不揮発性を用いたメモリ応用への試みが進められ、有機材料ならではの曲げられる（フレキシブルな）低コスト不揮発性メモリの開発や、将来の超高密度分子メモリの創成が大いに期待されています。このような背景の下、本研究室では、神戸大学のグループとの共同研究の下、VDFオリゴマーを用いた薄膜形成を行い、分極反転中の電気的特性と構造変化を追跡しています。その中で、分極反転過程での個々のVDFオリゴマー分子の運動に関する知見を得ると共に、新しい不揮発性メモリや各種センサへの応用を視野に入れた研究を進めております。

本研究結果の一例を以下に紹介します。VDFオリゴマー薄膜を真空蒸着法により作製し、その薄膜に電界印加（ポーリング）処理を施す前後でのX線回折測定結果を図1に示します。電界印加処理後は、薄膜からのX線回折ピークが顕著に観測され、ポーリング処理に伴う薄膜の構造変化が示されました。この結果は、ポーリング処理により生じるVDFオリゴマー分子の結晶化の促進／分子鎖の回転を端的に示しており、強誘電低分子の分極反転機構の解明につながるデータであります。また、厚さ0.1mmのポリイミド基板上に金属／VDFオリゴマー／金属のキャパシタ構造を形成した試料において、図2に示すような明確なD-Eヒステリシスカーブが得られ、基板の種類を問わず、強誘電性を有する薄膜を作成できるまでに至っております。このポリイミド基板の極率半径が10mm程度になるまで湾曲させた状態でD-Eヒステリシス測定を行った場合でも、残留分極量と抗電界が全く変化しないことも確認済みです。このように、有機材料の大きな特徴である可塑性、柔軟性を生かした電子デバイス作製への取り組みにおいて、本研究室は進展を続けております。

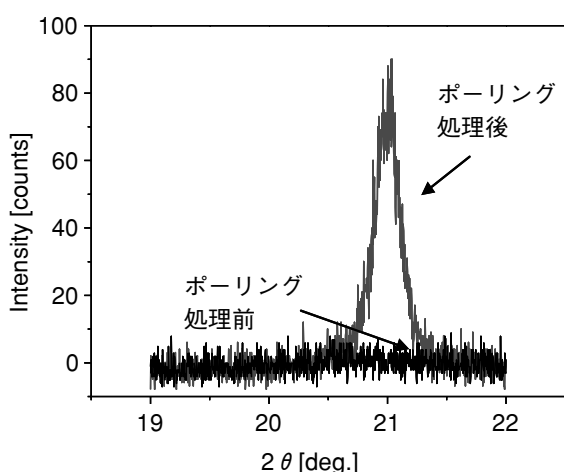


図1. 電界印加処理（ポーリング）前後におけるVDFオリゴマー薄膜のX線回折パターン

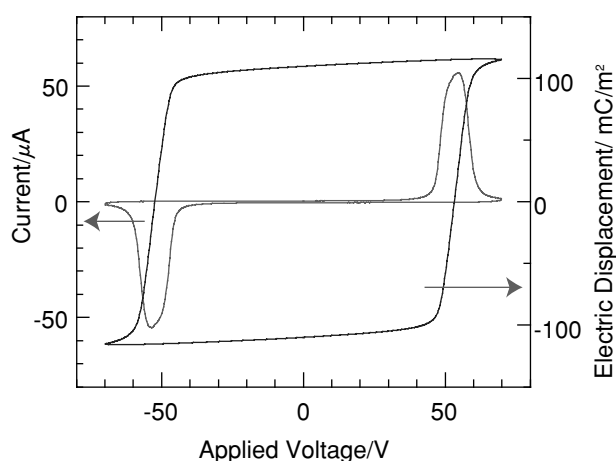


図2. ポリイミド基板上におけるVDFオリゴマー薄膜の分極反転特性

量子機能工学講座 量子電磁工学分野（北野研究室）

<http://www-lab15.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「時計を変える光周波数コム—光分周器の開発—」

レーザーの発振周波数を安定化することによって、現在の周波数標準よりも優れた性能をもつ周波数標準、すなわち光周波数標準を実現する研究が近年盛んに行われている。この背景には、光周波数を計測する技術が超短パルスモード同期レーザーを用いる方法で2000年に確立されたことがある。現在の周波数標準は約9.2GHzのマイクロ波領域で定義されているが、ここでたとえば周波数を1秒間計測して測定のために1Hzの変動が観測されたとしよう。9.2GHzに対する相対変動、すなわち周波数安定度は約 10^{-10} となる。これがもし光周波数なら、波長600nmの周波数 5×10^{14} Hzに対して周波数安定度は 10^{-15} 台と 10^4 も改善される。このような光周波数標準の能力は以前から注目されていたが、周波数標準として実用に供するには、その周波数を計測する必要がある。 10^{14} Hzといった高い周波数はカウンタでは直接計測できないので、電氣的に計測できるマイクロ波以下の周波数と比較する必要がある。モード同期レーザーによる方法により、広い波長域のレーザー周波数をマイクロ波周波数と常時比較することがはじめて可能となり、光周波数標準が現実のものとなった。この技術の発明を大きな理由として、2005年のノーベル物理学賞はHänsch博士とHall博士に授与された。

モード同期レーザーは超短パルス光を発生させる方法として広く用いられていて、一定の時間間隔で光パルス列を出力する。この出力光を周波数軸でみた姿はフーリエ変換の関係で、一定の周波数間隔で発振している多数のレーザー光の集合体となっている。その形状から光周波数コム（comb=櫛）とよばれ、その等間隔性から各モードを光周波数の基準点として利用することができる（図1）。光周波数コムの周波数軸上の位置（図1の f_{CEO} ：carrier-envelope オフセット周波数）はスペクトル幅が1オクターブ以上あればコムだけで決定することができ、さらにパルス繰り返し周波数 f_{rep} とモード次数 n からコムの各モードの周波数が決まる。そして、マイクロ波周波数標準に対して f_{rep} と f_{CEO} を安定化しモードのひとつとのビート周波数を測定すれば、レーザー周波数を決定することができる。

この測定では周波数安定度が劣るマイクロ波周波数標準でより安定な光周波数標準を評価するため、長い積算時間が必要となる。これでは光周波数標準の安定度のよさを消してしまう。コムをレーザーに安定化し、光周波数を分周したマイクロ波周波数を f_{rep} として得る、光分周器が実現できれば理想的である。コムとレーザーとのビート周波数と f_{CEO} を、ともに f_{rep} の整数分の1に位相同期させるとこれが実現できる。また、位相同期させるレーザーに発振線幅の狭いものを用意すれば、コムの各モード線幅が狭窄化される。我々はモード同期Ti:Sレーザーの自作からはじめて光分周器の開発に成功し（図2, 3）、30分を超える連続動作を確認した。線幅狭窄化も確認している。

今後はさらに性能向上を目指すとともに、さらに長時間動作可能なシステムを検討していく。また、基準光周波数として超高真空中に静止させた単一のイオンを利用する方法も同時に研究を進めていて、単一イオンの観測まで成功している。光周波数標準とコムを含めたシステムが完成すれば微細構造定数 α の経年変化の観測など、極限精密計測から基礎科学へのアプローチも可能となってくる。

参考文献) 杉山：レーザー研究、35 (2007) 228.

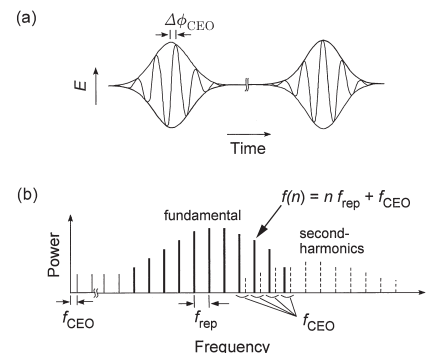


図1. (a) 時間軸 (b) 周波数軸
でみたモード同期レーザー



図2. 光分周器（光源部）

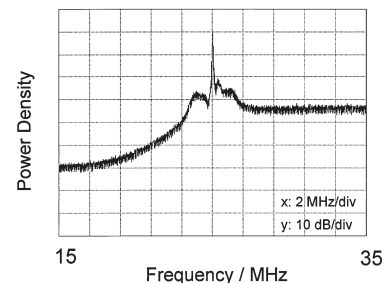


図3. 位相同期中のコムのモードとレーザーとのビート

知能メディア講座 画像メディア分野（松山研究室）

<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/japanese/index.html>

「情報通信ネットワークと電力ネットワークの統合による安全・安心なエコライフの実現を目指して」

1. 電力センシング&コントロールを行う情報通信ネットワーク

コンピュータ、通信システムはこの数十年の間に、大型コンピュータ、交換機を中心とした集中型システムからPC、インターネットによる超分散型システムへと展開が図られ、いわゆる情報ネットワーク社会という従来にはなかった新たな世界が創成された。

こうした視点から見ると、現在集中型発電が行われている電力ネットワークにおいても、今後PCに相当するものとして高性能かつ小型な蓄電池、発電装置が実用化されることによって、それらをネットワーク化した超分散型の電力ネットワークへと転換していくものと考えられ、その魁として家庭用の燃料電池、太陽電池、高性能蓄電池をはじめハイブリッド自動車、電気自動車が（モバイル発電装置として）商品化されつつある。下図は、そうした超分散型電力ネットワークの概念図を表したもので、数千万台、数億台におよぶ小型電力機器の状態をリアルタイムでセンシングし、最適な電力エネルギー授受パターンを制御する情報通信ネットワーク（ナノ・グリッド：電力エネルギーのセンシング&コントロールを行うセンサーネットワーク）を新たな社会基盤として構築しようというものである。

2. 電力センシング&コントロールネットワークによる安全・安心なエコライフの実現

現在、我々は、わが国のような先進国において、エネルギー消費が大幅に増加し続けており、地球温暖化防止に向けた障害の1つとなっている家庭におけるエネルギー消費削減を目的として、プロアクティブHEMS（Home Energy Management System）の開発を、電気工学専攻の大澤、引原両先生および総務省の情報通信研究機構知識創成コミュニケーション研究センターと共同で行っている。

このシステムの構成、特長は以下のようにまとめられる。

- (1) 家庭内の全ての電気機器に電力センシング&コントロール機能を備えた通信モジュールを付加する。
- (2) 各機器の電力使用パターンをリアルタイムに計測・蓄積し、機器の特性、配置から生活者の行動、生活環境の変化を学習・推定する。（たとえば、家族構成や生活時間帯、家庭内での人の位置・移動状況）
- (3) 学習・推定された情報に基づき、機器を制御し、生活の見守り、快適性を保ったままエネルギー消費の削減を実現する。（たとえば、風呂、トイレでの事故の発見、不要電力の削減、総消費電力の上限制御）
- (4) 小型蓄電池、発電機をホームネットワークに接続し、総合的エネルギー管理を行う。（たとえば、安価な夜間電力の活用、電力消費の昼夜間、季節間平準化、災害時、停電時の自立生活の確保）
- (5) 上記(1)～(4)の機能を実現するための、ネットワークプロトコルの設計と標準化

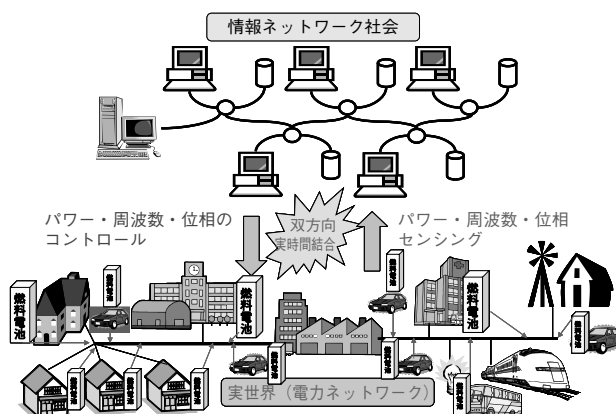


図1. 情報通信ネットワークと電力ネットワークの統合

この研究は、電力、デバイス、通信、情報に渡る電気系の全ての専門分野および産学官が一丸となって取り組むべき課題と考えており専門分野を超えた多くの方々の参画を期待しています。

通信システム工学講座 知的通信網分野（高橋研究室）

<http://cube.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「データ相関を考慮した経路制御法を用いた省電力型センサネットワーク」

センサネットワークは、将来のユビキタスサービスを実現するための新しい技術として注目を集めています。センサネットワークでは、小型で消費電力の小さい多数のセンサノードを空間的に分散配置し様々なデータを測定し、マルチホップ無線ネットワークを介してそれら測定データを自律的に収集することを可能とします。これにより、例えばビルの照明・空調制御による省電力化、環境情報収集による防災システムなどの実現が期待されています。センサネットワーク技術の確立に向けた課題の一つに、センサノード間通信やデータ収集処理等における省消費電力化の実現があります。省消費電力化の実現により、センサノードの電力供給やメンテナンスを不要とすることができ、結果としてセンサネットワーク全体のシステム寿命を長くすることが可能となります。

本研究では、センサネットワークにおける測定データの相関に注目し、相関関係の特性に応じた経路制御を行うことにより省消費電力化を実現する方式の検討を行っています。測定データの相関は、空間的に近い場所にセンサノードがあるため測定値が似通ったものになる場合、あるいは周期的に測定する場合に各周期における測定値が大きくは変わらないような場合に発生します。具体例としては、空間的にも時間的にも似通った測定値になりやすい気温や湿度のようなものがそれにあたります。従来の経路制御方式では、これら測定データの相関を直接的に意識することなく、データ転送経路を決定していたため、センサノード間でのデータ転送回数は最小化されることはなく、省電力の観点からは適切なものとは言えませんでした。そこで、本研究で提案する経路制御方式では、このような測定データに相関がある場合、センシング対象となる空間内において、強い相関をもつ測定データとなったセンサノード群を抽出し、できるだけそのノード群内に閉じた経路となるようにノード間でデータ送受信を行います。図1の例では、yes/no型の問い合わせに対して、“yes”と答えるセンサノードだけを經由してデータが転送されていく様子を表します。また、図2に示した消費電力評価例から、提案経路制御方式は従来型の経路制御方式を用いた場合より省消費電力を実現していることがわかります。

センサネットワークの省消費電力化を実現するためのアプローチには、本研究のような経路制御に関するもの以外にも、センサのセンシング・エリア・カバー率を考慮したスケジューリング方式や、ネットワーク内でのデータ集約方式等おおくのものがああります。今後は、これら様々な省電力方式と提案経路制御方式との比較、あるいは提案経路制御方式との組み合わせ等を検討し、実用に供することが可能となるセンサネットワークの基盤技術の確立を目指します。

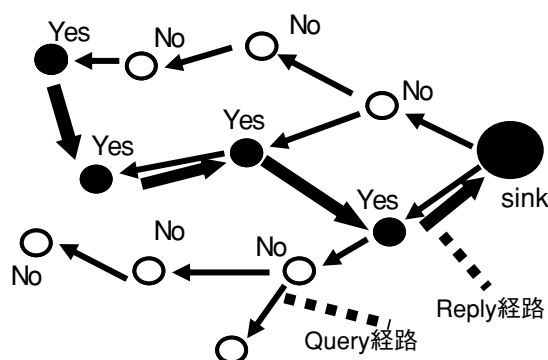


図1. 提案経路制御の例
(Yesと答えたノードだけを經由)

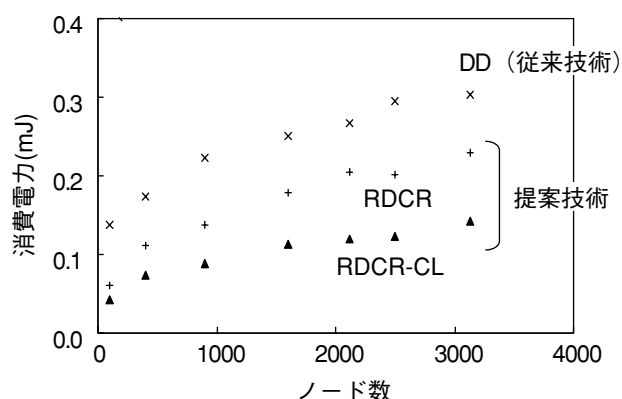


図2. 提案経路制御法の消費電力評価例

集積システム工学講座 情報回路方式分野

<http://www-lab09.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「組込みコンピュータビジョンに関する研究」

近年、車載、ロボティクス、エンターテインメント、セキュリティ等の組込み分野において画像認識技術の応用に対する要求が高まっている。画像認識は一般に膨大な演算量を必要とするため、それをこのような組込みシステムにおいて実現するためには様々な問題を解決する必要がある。

一般に組込み用途では消費電力が制限される場合が多い。動作周波数の向上は消費電力の増大を引き起こすため、動作周波数を低く抑えたまま高い演算性能を実現する必要がある。特に、画像認識のような多くの演算量が必要な処理を行う場合には、並列処理の適用が必要不可欠である。このような背景を鑑み、当研究室では並列性が高くかつ認識性能の高いアルゴリズムの研究を行い、その並列実装手法や専用プロセッサの開発を行っている。

当研究室の研究対象の1つに物体認識がある。物体認識は、物体検出と追跡から構成されるが、我々は検出過程に必要な機械学習の手法としてブースティングに着目し、追跡過程に必要な時系列信号処理手法として粒子フィルタに着目している。ブースティングは多数の弱識別器を組み合わせることによって強識別器を構築する集団学習手法の1つであり、ブースティングに基づいて構築された強識別器を用いて検出を行う場合、強識別器を構成する弱識別器はそれぞれ独立に処理を行うことが可能であり、高い並列性を有している。また、粒子フィルタにおいては粒子によって状態を表現し、多数の粒子を用いることにより多数の状態を保持し、最も確からしい状態を選択することによって状態推定を行うため、粒子の数に対応した並列性を有している。これらの手法は並列性が高いだけでなく、その性能も優れたものであり、並列性と性能の両立という目的に適している。

上述の考えに基き、特に車載などにおいて必要となる歩行者認識アルゴリズムの検討を行った[1]。遠赤外線カメラの画像からブースティングを用いて歩行者検出を行い、スケルトンモデルを用いた粒子フィルタで歩行者の追跡処理を行った。遠赤外線画像と歩行者認識結果(画面右中央の矩形領域)を図1に示す。本手法により遠赤外線画像における歩行者を高精度に認識可能であることを示した。



図1. 遠赤外線画像における歩行者認識



図2. PlayStation3を用いた実時間物体認識システム

次に本研究室では、前述のブースティングや粒子フィルタの処理の並列性に注目し、これらの処理の並列化検討を行った。この結果を基に最新の組込み向けマルチコアプロセッサであるCell Broadband Engine向けに本手法をソフトウェアで並列実装し、実時間で動作可能な物体認識システムの構築を行った[2]。本システムの概観を図2に示す。また上記の物体認識システムにおいて最も計算量が多い処理は、ブースティングによる物体検出処理であるため、本研究室では本処理のハードウェアの設計も行い[3]、さらなる高速化を図っている。

参考文献

- [1] R. Miyamoto, H. Sugano, H. Saito, H. Tsutsui, H. Ochi, K. Hatanaka, and Y. Nakamura, "Pedestrian recognition in far-infrared images by combining boosting-based detection and skeleton-based stochastic tracking," in *Proc. of PSIVT*, Dec 2006, LNCS 4319, pp. 483-494.
- [2] H. Sugano and R. Miyamoto, "A real-time object recognition system on Cell Broadband Engine," in *Proc. of PSIVT*, 2007, LNCS 4872, pp. 932-943.
- [3] H. Masayuki, K. Nakahara, H. Sugano, Y. Nakamura, and R. Miyamoto, "A specialized processor suitable for adaboost-based detection with haar-like features," in *Proc. of CVPR*, 2007.

集積システム工学講座 超高速信号処理分野（佐藤研究室）

<http://www-lab26.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「人体の歩行運動を用いたUWBレーダによる高速イメージング技術」

UWBレーダを用いたイメージング技術は犯罪やテロを防止する監視システムへの応用が期待されている。当研究室ではこうした応用において、実時間動作のための高速UWBレーダ画像化のためのSEABED法を開発してきた。SEABED法はアンテナ走査を仮定するが、人体を対象とすることで歩行運動をアンテナ走査の代わりに利用することができる。当研究室ではSEABED法を拡張し、歩行運動と人体形状を同時に推定する手法を現在開発している。

広指向性アンテナを水平方向に2つ設置し、両アンテナを用いてパルスの送受信を行う。人体がアンテナ配置方向と平行に未知の可変速度と仮定する。SEABED法ではアンテナ位置 X と受信信号の遅延時間 Y の関係である疑似波面 $Y(X)$ を可逆変換IBSTにより推定形状に変換する。時刻 t におけるアンテナ1及び2の位置をそれぞれ $X(t)$ 及び $X(t)+X_0$ とすると、各アンテナで得られる疑似波面は時刻 t の関数としてそれぞれ $Y_1(t)=Y(X(t))$ 及び $Y_2(t)=Y(X(t)+X_0)$ となる。これら合成関数 $Y_1(t)$ 、 $Y_2(t)$ から $Y(X)$ を求めることで、目標形状が推定できる。目標が十分小さい場合には単純な干渉計法を適用できるが、人体の場合にはこの近似は成り立たず、人体表面の散乱中心が歩行に伴って変化することを考慮した定式化が必要となる。

提案処理法を適用して推定される像を図1に丸印で示す。ただし人体の断面形状は楕円形、歩行運動は x 軸正方向に平均1m/secの3次関数のモデルを仮定し、未知であるとして処理している。同図の x 印は速度推定を用いずに平均速度の等速直線運動を仮定する場合の像である。提案手法により未知速度の運動の効果を補正して正しい像が得られることがわかる。さらに、図2のように実際の歩行運動を動画撮影し、実際の移動速度を用いて提案処理法によるイメージングを行った。速度の変動成分を図3に示す。この運動を仮定した場合の推定形状を図4に示す。同図より提案手法は歩行運動に対する先験情報を一切使用せずに目標の形状を正しく推定することが可能であることが分かる。

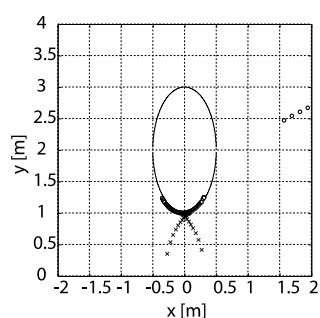


図1. 提案法による推定形状

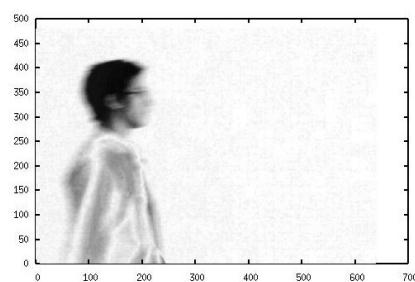


図2. 歩行運動の動画撮影の例

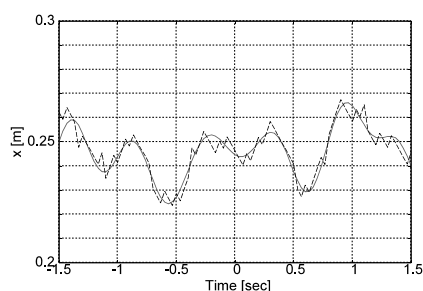


図3. 実際の歩行運動の等速直線運動との差

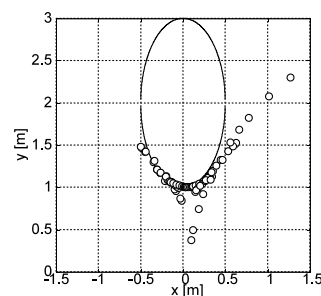


図4. 実際の歩行運動による推定形状

エネルギー物理学講座 電磁エネルギー学分野（近藤研究室）

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/index-j.html>

「ヘリカル系プラズマにおける統合シミュレーションコード開発」

太陽のエネルギー源である核融合エネルギーを地上で実現するには、一億度以上の高温プラズマを閉じ込める必要がある。その手段として磁場を用いた方法が検討されている。主に外部コイルに流す電流だけで、ドーナツ状のプラズマ（トーラスプラズマ）の閉じ込めに適した磁場配位（MHD平衡）をつくる「ヘリカル系方式」と、外部コイル系だけでなくトーラスプラズマ中に大きな電流を流すことで、磁場配位をつくる「トカマク方式」とが、有望な磁場閉じ込め方式として挙げられる。ヘリカル系プラズマの例として、京都大学エネルギー理工学研究所のヘリオトロンJ装置で閉じ込められるプラズマの形状を図1に示す。一般に、トカマクプラズマは回転対称性のある軸対称プラズマであるが、ヘリカル系プラズマは非軸対称プラズマであるため、対称性を用いることができず三次元解析が必要である。このため、ヘリカル系プラズマでは、計算機を用いた数値解析の役割が大きい。

ヘリカル系プラズマの研究において、これまでも当然、個々の数値解析コードを用いた理論・実験解析が数多く行われているが、これらを輸送・加熱・MHD平衡/安定性などの観点から統合的に解析する必要性が指摘されている。当研究室では、必要に応じて取捨選択できるモジュール群を、有機的に組み合わせることのできる統合シミュレーションコードの開発を長期的目標にしており、関連したさまざまな研究を進めている。このような統合シミュレーションの例として、MHD平衡計算モジュールとプラズマ電流分布時間発展解析モジュールを組み合わせたシミュレーションの結果を図2に示す。先に述べたとおり、ヘリカル系プラズマではプラズマ電流を積極的に流す必要はないが、現実には自発電流などいろいろな要因でプラズマ電流が流れている。しかし高温プラズマの電気伝導度は大きいため、プラズマ電流分布の時間発展の時定数は長く、容易に定常状態にならない。プラズマ電流分布は磁場配位を変化させるので、ここで示したような電流分布の過渡応答解析は、プラズマの磁場閉じ込めを研究する上で非常に重要である。

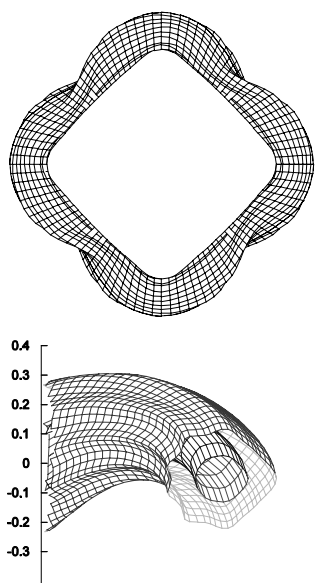


図1. ヘリオトロンJプラズマの上面図と断面図（磁気面）

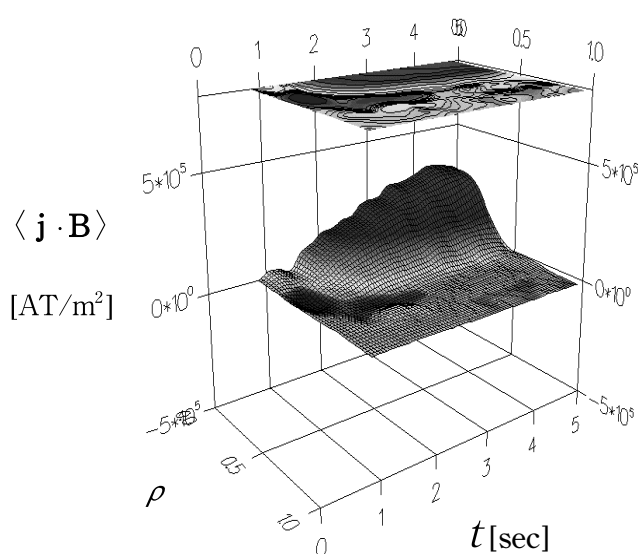


図2. 数値シミュレーションで得られたプラズマ電流分布の時間発展

応用熱科学講座 応用基礎学分野（野澤研究室）

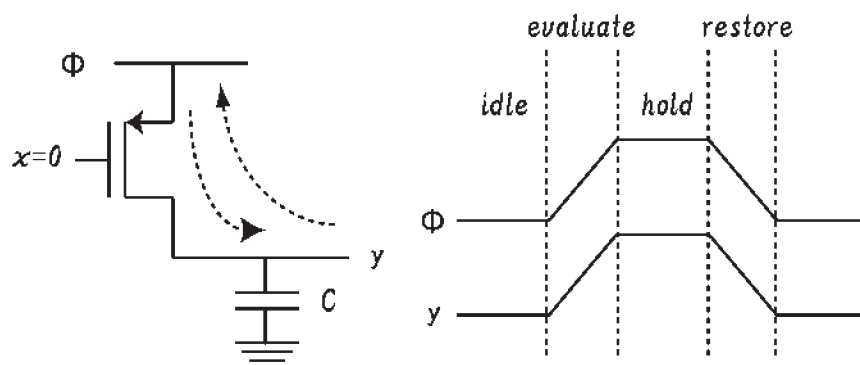
<http://www.energy.kyoto-u.ac.jp/>

「Chain FRAMを用いた新強誘電体機能メモリの内部演算回路に関する研究」

Chain FRAMの概念を取り入れた高密度強誘電体機能メモリの特徴である超並列演算処理機能を最大限に利用し、新しい検索・整列アルゴリズムなどが実行可能な新しい情報処理システムを実現するためには内部演算回路のピーク電流増加に伴う消費電力の問題を解決する必要があります。そのため内部演算回路にCMOS回路を採用します。さらに加えて、1つの方法として回路動作に伴う熱エネルギーを極限にまで減少できる可能性を持つ断熱型CMOS論理（Adiabatic CMOS Logic）回路の可能性について調査・研究しています。

断熱型CMOS論理回路の原理は次のとおりです。標準的CMOS回路では、出力負荷容量 C を V_{DD} に充電するため CV_{DD}^2 のエネルギー量が供給されます。 CV_{DD}^2 の半分のエネルギーは出力負荷容量に貯えられ、残りの半分は充電プロセスで消費されます。出力負荷容量が放電する時、出力は接地に放電されると同時に $1/2CV_{DD}^2$ の量のエネルギーがトランジスタで消費されます。下図にエネルギー回収メカニズムの概念を示します。図に示すように電力供給電圧 Φ は固定されていません。それは V_{DD} に対して傾きを持ちます。PMOSデバイスは抵抗とみなします。抵抗の値が小さい場合、その抵抗における電圧降下は小さく、また抵抗で消費されるエネルギーも小さい。従ってエネルギーの大半は出力負荷容量を充電することに費やされます。電力供給電圧 Φ がrestoreモードの期間“1”から“0”に傾斜しながら低下する時、出力容量 C の電荷はPMOSを経由して Φ へと流れます。こうして出力 y に貯えられていたエネルギーは電力供給源に回収されます。これが理想に近い断熱スイッチングです。

内部演算回路としてコンパレータ（比較器）機能を有する数種類のXOR（排他的論理和）を対象に断熱型CMOS論理回路の適用を検討し、新しい回路を考案、その回路についてSPICEシミュレーションを行った結果、所期の結果を得ました。



参考文献

渡邊圭二、野澤博：電力回収回路を用いた機能メモリ内部演算回路に関する研究、電子情報通信学会2008年総合大会、予稿集

エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野（水内研究室）

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/plasmak/index.html>

「核融合プラズマにおける新しい磁場配位の開拓 ～プラズマ中を流れる電流の役割～」

京都大学で独自に創案されたヘリオトロン磁場配位は、ヘリオトロンEに代表される歴代のヘリオトロン装置により、高温プラズマ閉じ込め概念としての優位性が実証されてきました。これらの成果を発展させ、更なるプラズマ閉じ込め磁場配位最適化を目指して、私たちはヘリカル軸ヘリオトロン配位を持つプラズマ実験装置「ヘリオトロンJ」において、新たな磁場配位パラメータ領域を開拓し、磁場閉じ込めプラズマの理解に資するため精力的に実験研究を進めています。今回はプラズマ中に流れる電流とプラズマ閉じ込めとの関係について簡単に説明し、電流を積極的に活用したプラズマ制御に関する研究を紹介します。

プラズマは通常、電子とイオンの総電荷数は同数であるので全体的には電氣的に中性です。しかしながら、イオンや電子は複雑な軌跡を描いて運動・衝突するため、両者の差によってプラズマ中に電流が生じます。磁力線が閉じた系の中（磁気面と呼ばれます）では、この電流によって生じた磁束は磁気面に影響を与えるため、それがまたイオンや電子の軌道に影響を与えます。ヘリオトロン型磁場配位は外部コイルにより作られるため、基本的にプラズマ電流を必要とせず安定な磁気面を作ることが出来ます。しかしプラズマの圧力（温度×密度）が要因でプラズマ中に電流（自発電流）が流れます。また、プラズマを“加熱”する際、同時にイオンや電子に運動量を与えるため、その結果電流（駆動電流）が流れます。電流による磁場構造の変化で特に問題となるのは有理面の出現です。有理面とは、ある点からスタートした磁力線が1周ないし数周で同じ場所に戻ってくるような、特殊な磁気面を指します。有理面はプラズマ中に不安定性を発生させ、閉じ込めの劣化を引き起こす場合があります。そのためヘリオトロンJの磁場配位は通常、有理面を避けて設計していますが、電流や圧力の影響で変化します。図1はヘリオトロンJで電流の影響を調べた実験の放電波形を示しており、駆動電流と自発電流の効果で最大2.5kAの電流がトーラス周回方向（トロイダル方向）に流れています。真空容器壁近くにアレイ状に設置した静電プローブの計測から、この電流の効果でプラズマ周辺部の磁場構造が変化していることが分かりました。実際には磁場構造の変化にはプラズマ圧力も寄与するため単純ではありませんが、数値計算からはプラズマ内部の磁場構造も変化していることが予想されています。

最近、電流や圧力の影響を逆手にとって、これらを積極的にコントロールすることで望ましい磁場配位を得ることを目的とした実験を始めました。図2は加熱による駆動電流をトロイダル方向に順方向および逆方向に流したときの実験結果です。順方向の場合、ある時刻から蓄積エネルギーが増加する事が分かり、同時に粒子閉じ込めの改善を示唆する結果が得られました。しかし逆方向の場合にはそれが見られませんでした。この様な閉じ込めの“相転移”は遷移現象と呼ばれ、経済的な核融合炉を目指すためには必要不可欠とされており、未来の発電炉にむけた設計をするためのデータベースの構築、および物理現象の解明が重要な課題となっています。今回の実験では新たに、遷移が始まるトロイダル電流にある閾値が存在するということがわかりました。実はこのときの磁場配位では、閉じ込め磁場内に有理面が存在することが数値計算から予想されています。現在、いろいろなパラメータ範囲で実験を行うことで、遷移現象の物理解明を進めると共に、有理面がプラズマ閉じ込めに与える“良い効果”についても実験的・理論的に解明しようと試みています。

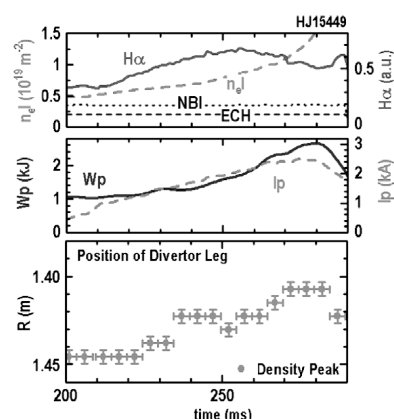


図1. プラズマ電流による磁場構造の変化。トロイダル電流 (I_p , 中) の変化と共に、周辺部のプラズマ密度のピーク位置 (下) が変化しており、周辺部の磁場構造の変化を示唆している。

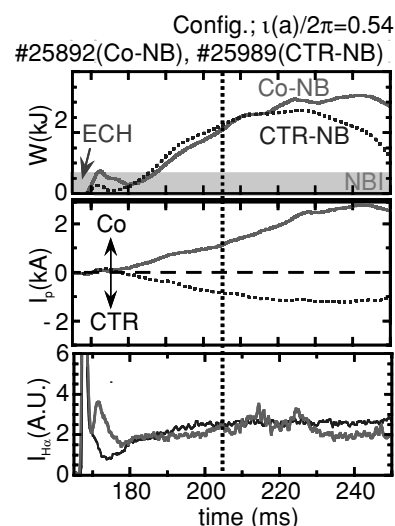


図2. 順・逆方向の駆動電流実験での放電波形。順方向に電流を駆動した場合（実線）のみ、 $t=204\text{ms}$ 付近から遷移現象が観測されている。

生存圏研究所 生存圏開発創生研究系 宇宙圏電波科学分野（山川研究室）

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/space/labo.html>

「宇宙圏電磁環境モニターシステム用センサーノード」

私たちの研究室では、これまで、科学衛星にプラズマ波動観測器を搭載し、地球周辺の宇宙空間におけるプラズマ波動現象を観測することによって宇宙空間がどのような電磁環境のもとにおかれているのかを探索してきました。この研究は、現在は広く惑星間空間にまで広がっており、現在は、2013年に打ち上げが予定されている水星探査機（BepiColombo計画）に搭載するプラズマ波動観測器の開発を行っています。また、その一方で、このような純粋科学的な探求を行うばかりでなく、宇宙空間への人類の本格的な進出に備え、そこでの人類活動がその電磁環境に与える状況をモニターできる装置の開発にも取り組んでいます。人間活動が宇宙電磁環境に与える擾乱をモニターするには、その活動域の多くのポイントにおいてプラズマ波動をモニターする必要があります。これは、大規模宇宙ステーションなど、人間の活動域というのは空間的に一様ではないからです。更に、日常的にモニターすることを考えると、その装置は手軽に扱えるもので、安価である必要があります。このような設計思想は従来から開発している衛星搭載観測器の「高価」、「厳密な取り扱い」、「大規模」というものとは、まったく相反するもので、その実現には、新しい技術展開が必要です。そこで、山川研究室では、数年前より、多点で宇宙電磁環境をモニターできるシステム「宇宙圏電磁環境モニターシステム」の開発に取り組んでいます。これは、図1に示すような小型のモニター装置をターゲットとなる宇宙空間に多数飛散させプラズマ波動強度などをモニターするものです（最後は大気圏に突入して燃え尽きます）。そして、このモニター装置がノードとなって宇宙空間でセンサーネットワークを確立することになります。この宇宙空間に構築されるセンサーネットワーク実現に向けては、様々な開発要素がありますが、本稿ではセンサーノード内に実現される小型プラズマ波動計測装置について述べます。山川研究室では、このノードの小型化に向けて、従来ディスクリート部品で開発されていたプラズマ波動観測器のアナログ回路部を、ASIC（Application specific integrated circuit）内部にワンチップとして実現させる研究に取り組んでいます。アナログASICの開発については、まったくゼロからスタートでした。アナログASIC研究を専門で行っている専門家の先生方に助言をいただきながら学生さん達とともに立ち上げてきました。アナログASIC内部には、差動アンプ、オペアンプ、Low pass filter、Band Pass filter、A/Dコンバーターなど合計数10チャンネルを組み込む予定です。現在は、コンポーネント毎の試作と特性を確認しつつ、その設計の難しさを痛感しながら最終的なデザインを視野に開発を行っているところです（図2）。第一回目の試作は、まったく動作しなかったのですが、今年度までに4回の試作を行い今年度は多チャンネルBPFとそのスイッチングによる多チャンネルスペクトル計測器の基礎開発にも成功しました。更に、今年度は、宇宙での利用を想定して、温度による特性変化を調べる実験も開始しており、今後、更に、宇宙圏電磁環境モニターシステム実現にむけて開発を展開していく予定です。

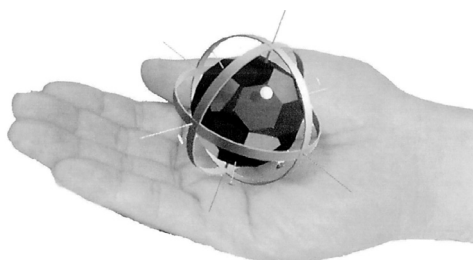


図1. 小型センサーノード（想像図）



図2. 試作したアナログASIC. 7チャンネルの差動アンプ、LPFなどを実現させている。

生存圏研究所 生存圏開発創成研究系 生存圏電波応用分野（橋本研究室）

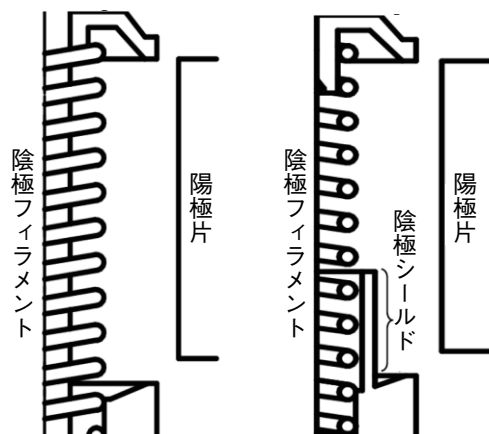
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/hashimoto.html>

「民生用マグネトロンの低雑音化の取り組み」

当研究室では、電気工学専攻の協力講座である研究所内の山川研究室、大村研究室と協力し、マイクロ波を用いた無線電力伝送の研究を行っている。本稿では、無線電力伝送システムの送電システムへの応用が期待されるマグネトロンに関するこれまでの取り組みについて述べる。

マグネトロンはマイクロ波電子管の一種であり、70%以上の高い直流-マイクロ波変換効率で発振するマイクロ波発振器である。また、マグネトロンは民生用のマイクロ波加熱源として世界中に広く普及しており、数百Wのマイクロ波を安価で入手することができる。一方で、マグネトロンは発振時の周波数帯域幅が広く、また様々な周波数帯でスプリアスが発生することが知られている。これらの背景から、当研究室では民生用マグネトロンの長所を生かし短所を克服すべく、民生用マグネトロンの低雑音化の研究に取り組んでいる。本研究結果は、従来の民生用途にそのままフィードバックされるだけでなく、無線電力伝送システムあるいは既存のマグネトロンレーダ装置への貢献が期待される。

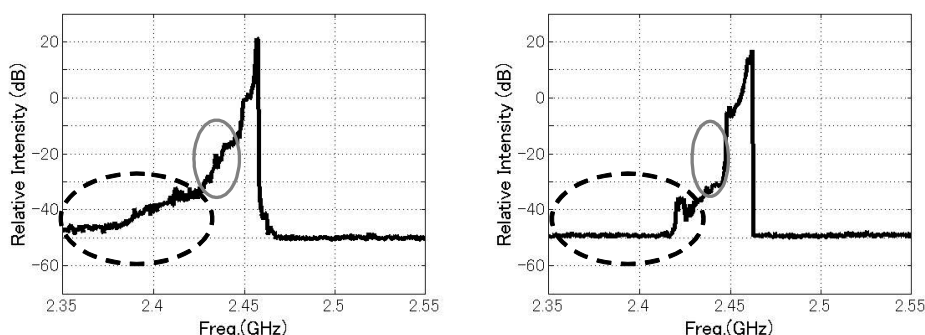
マグネトロンの低雑音化の一手段として、陰極シールド型マグネトロンを民間との共同研究により開発した。図1にマグネトロン管内の垂直方向断面図を示す。図1(a)は従来のマグネトロン陰極構造であり、図1(b)は開発した陰極シールド型マグネトロンである。マグネトロン管内の陰極両端部は周辺形状の影響により静電界と静磁界が必ずしも直交しない。従って陰極両端部での電子運動は所望通りとはならず、この陰極両端部での不要な熱電子放出・電子運動はマグネトロンから発生する雑音源の一つと考えられる。陰極シールド型マグネトロンは陰極端部の一方を金属筒でシールドすることにより、不要な熱電子放出・電子運動の抑制を狙ったものである。なお、他方の陰極端部は元々の陰極温度が低く熱電子放出量は少ないと考えられたため金属シールドを施していない。



(a) 従来型 (b) 陰極シールド型
図1. マグネトロンの垂直方向断面図

図2に民生用マイクロ波加熱装置に使われる半波倍電圧電源を駆動電源としたときのマグネトロンの発振スペクトルの測定結果を示す。従来の発振周波数スペクトルで観測される周波数2.45GHz以下のスプリアスが陰極シールドを施すことにより低減されたことが分かる。

現在は、マグネトロンの低雑音化に加えて、更なる高効率化の研究を実測実験および計算機による3次元粒子シミュレーションの両面から行っている。



(a) 従来型 (b) 陰極シールド型
図2. マグネトロンの発振スペクトルの測定結果